Der Einfluss der Ventilation

auf den

Kohlensäuregehalt der Luft

geschlossener Räume.

Inaugural-Dissertation

zur

Erlangung der medizinischen Doktorwürde

der

hohen medizinischen Fakultät

der

k. bayr. Friedrich-Alexanders-Universität Erlangen

am 26. Juli 1894

vorgelegt von

Josef Gengler,

approbiertem Arzt aus Erlangen.

Erlangen.

K. b. Hof- u. Univ.-Buchdruckerei von Fr. Junge (Junge & Sohn).

1896.

Gedruckt mit Genehmigung der medizinischen Fakultät zu Erlangen.

Referent: Herr Prof. Dr. I. Rosenthal.

Seinem lieben Vater

in Verehrung und Dankbarkeit

gewidmet

vom Verfasser.

Von den Endprodukten der im tierischen Körper stattfindenden Verbrennung ist die Kohlensäure für die praktische Hygiene das wichtigste, da der Kohlensäuregehalt der Luft in der Regel als zuverlässiger Massstab zur Beurteilung der Luftbeschaffenheit und des Luftwechsels in geschlossenen, von lebenden Wesen bewohnten Räumen gelten kann.

Es hat sich deshalb, besonders im Interesse der Ventilationstechnik, die wissenschaftliche Forschung mit besonderem Eifer darauf verlegt, praktische Methoden zu ersinnen und zweckmässige Apparate zu konstruieren, um die Kohlensäureabgabe lebender Wesen und den Kohlensäuregehalt der Luft geschlossener, beleuchteter und geheizter Räume genau bestimmen und messen zu können.

Die ersten derartigen Versuche mit Tieren machten Regnault und Reiset; später, da Tierexperimente nicht mehr genügten, konstruierte Scharling einen Apparat, in welchem solche Versuche am Menschen gemacht werden konnten. Den umfangreichsten und technisch vollendetsten Apparat für Untersuchungen über den respiratorischen Gaswechsel hat von Pettenkofer, angeregt durch die Arbeiten von Bischoff und Voit, zusammengestellt, und Voit hat später die gleiche Konstruktion, nur im kleineren Massstabe, und die gleiche Anordnung auch bei Versuchen an kleineren Tieren angewendet.

Der Vorteil des Pettenkofer'schen Apparates liegt darin, dass das Versuchstier ungebunden und frei in einen

mit atmosphärischer Luft nach Belieben zu ventilierenden Raum gebracht wird, so dass die wechselnde Luft genau gemessen und auf ihren Kohlensäuregehalt geprüft werden kann; der Nachteil hinwiederum liegt darin, dass diese Versuche ein sehr umfangreiches Instrumentarium erfordern, ziemlich viel Zeit in Anspruch nehmen, und dass der Experimentierende nicht sofort Aufschluss über das Resultat erhält. Diesem Nachteil ist es auch zuzuschreiben, dass das Pettenkofersche Verfahren vorzugsweise bei exakten wissenschaftlichen Untersuchungen, selten dagegen in der hygienischen Praxis Anwendung findet.

Ein den praktischen Anforderungen besser entsprechendes „abgekürztes“ Verfahren der Kohlensäurebestimmung hat von Pettenkofer selbst angegeben, und nach ihm haben eine Reihe von Forschern neue Methoden ersonnen, welche überall die Ausführung einer Luftanalyse mit sehr geringen Hilfsmitteln und in sehr kurzer Zeit ermöglichen sollten. Man kann alle diese mit kleinen Luftproben arbeitenden Methoden als „minimetrische“ bezeichnen.

Unter ihnen ist zunächst zu erwähnen das Smith-Lunge'sche Verfahren, das, zuerst in England von Smith in die hygienische Praxis eingeführt, durch Lunge auch in Deutschland bekannt geworden ist; es liefert, wenn man sich nicht gut darauf eingeübt hat, häufig ungenaue Resultate. Ferner hat Hesse eine minimetrische Methode beschrieben, die aber nur eine nicht gerade glückliche Modifikation des abgekürzten Pettenkofer'schen Verfahrens genannt werden kann. Diese beiden bedienen sich zur Absorption der Kohlensäure einer stark verdünnten Barytlösung.

Eine wesentliche Verbesserung haben dann endlich Lunge und Zeckendorf und nach ihnen Lehmann eingeführt, indem sie das bisher immer angewendete Barytwasser durch eine Natriumkarbonatlösung, welche mit Phenolphtalein gefärbt wird, ersetzen.

Diese sehr vorteilhafte Absorptionsflüssigkeit wurde adoptiert für einen minimetrischen Apparat, der seither im physiologischen Institut zu Erlangen bei Luftprüfungen vielfach in Gebrauch gekommen ist. Was den Apparat auszeichnet, ist, dass die zu untersuchende Luft nicht, wie bei den Fläschchenapparaten von Lunge, Zeckendorf und Lehmann, durch einen Gummiballon in die Natriumkarbonatlösung hineingepresst, sondern langsam in kleinen Bläschen durch die CO_2-absorbierende Lösung hindurchgesaugt wird. Seine Einrichtung und Handhabung ist ausführlich in der Inaugural-Dissertation von Ernst Marquardsen, Erlangen 1890, geschildert, weshalb ich hier nicht näher darauf eingehe. Weitere Angaben über diesen minimetrischen Apparat finden sich in: A. Pracht, Die minimetrische Bestimmung des Kohlensäuregehaltes der Zimmerluft. Inaugural-Dissertation, Erlangen 1891, und O. Schulz, Über einen neuen Apparat zur Ermittelung des Kohlensäuregehaltes der Zimmerluft. Münchener medizinische Wochenschrift Nr. 37, 1891.

Abgesehen von der 7. Versuchsreihe, über deren Ausführung später noch einige spezielle Angaben zu machen sein werden, habe ich mich des minimetrischen Verfahrens bei der grösseren Hälfte meiner Versuche ausschliesslich bedient, indem ich die Luft des in bestimmter Weise ventilierten Tierbehälters direkt durch den kleinen Luftprüfungs-Apparat saugte. Bei der zweiten und kleineren Hälfte meiner Versuche analysierte ich die Luft sowohl nach dem minimetrischen, als nach dem exakten Pettenkofer'schen Verfahren. Um das letztere bequem anwenden zu können, benutzte ich einen im physiologischen Institut zusammengestellten Respirationsapparat, der aus einem Tierbehälter, einem als Aspirator dienenden Glasballon, zwei Manometern und einer Anzahl mit Baryt gefüllter Kolben und Pettenkofer'scher Röhren bestand; seine Anordnung (cfr. Ph. Klingel, Über die Bedeutung der Hautbedeckung für die Kohlensäureausscheidung des

Tierkörpers. Inaugural-Dissertation, Nürnberg 1892) ist in den aus dem physiologischen Institut hervorgegangenen Experimentalarbeiten über respiratorischen Gaswechsel mehrfach genau beschrieben worden.

Der als Versuchsraum dienende Tierbehälter bestand in einem luftdicht verschliessbaren, mit Glasscheiben an beiden Längsseiten versehenen Kasten aus Metall, von 58,800 Liter Inhalt, mit je einer Öffnung nahe dem Boden und nahe der Decke zum Ein- und Austritt der Ventilationsluft. Verbunden wurde dieser Kasten durch eine Bleirohrleitung und Gummischläuche mit einer Körting'schen Wasserstrahlpumpe. Ausser diesem Kasten benützte ich noch zu einer kleineren Reihe von Versuchen eine Glasglocke von 7,50 Liter Inhalt, die auf einem hölzernen Tischchen luftdicht aufsass und auf der einen Seite des Bodens mit einer Eintritts-, auf der anderen mit einer Austrittsöffnung für den Ventilationsstrom versehen war. Zu der letzten Versuchsreihe diente mir als Versuchsraum ein S. 26 näher beschriebener Blechkasten.

Auf einem Tische in der Mitte des Zimmers, in welchem der Apparat sich befand, war noch ein minimetrischer CO_2-Apparat aufgestellt, mit dem ich von Zeit zu Zeit den Kohlensäuregehalt der Zimmerluft prüfte. Die in den Versuchsraum eintretende Zimmerluft wurde zuvor nicht von Kohlensäure befreit, daher ist der Kohlensäuregehalt der abgesaugten Kastenluft, streng genommen, Kohlensäuregehalt der Kastenluft + Kohlensäuregehalt der Zimmerluft, was aber für die Ergebnisse nicht ins Gewicht fällt, da in dem Zimmer, in welchem die Experimente vorgenommen wurden, ausser dem Arbeitenden selten eine andere Person zugegen war und der Raum immer gut ventiliert wurde.

Als Kohlensäurequellen dienten in erster Linie Kaninchen von mittlerer Grösse, die gleichmässig mit Rüben ernährt wurden, dann zu einigen Versuchen ein Meerschweinchen. Die Tiere wurden immer vor und nach jedem Versuch gewogen

und ihre Eigenwärme festgestellt. Bei einer kleineren Anzahl von Versuchen benützte ich Stearinkerzen, Nachtlichte und Leuchtgasflämmchen als Kohlensäurequellen, bei den gesondert zu besprechenden Versuchen der 7. Reihe ausschliesslich Leuchtgasflämmchen.

Meine Versuche teile ich in sieben Reihen ein, deren typische Resultate in Gestalt kleiner Tabellen in den Text eingefügt sind. Die analytischen Daten, aus denen diese Resultate durch Rechnung abgeleitet wurden, habe ich, um die Darstellung nicht weitschweifig zu machen, nicht aufgenommen.

1. Versuchsreihe.

In dieser Reihe habe ich die Versuche zusammengestellt, die ich mit Kaninchen ausführte bei einer stündlichen Ventilation von 100 Liter Luft.

Das Tier wurde in den als Versuchsraum dienenden Kasten von 58,8 Liter Inhalt gesetzt und die Ventilation in Gang gebracht. Waren dann einige Minuten vergangen, so begann ich die aus dem Kasten abgesaugte Luft auf ihren Kohlensäuregehalt mit dem minimetrischen CO_2-Apparate zu untersuchen. Die kleine beigefügte Tabelle wird das Resultat der Untersuchung am besten klar machen.

Nr.	Kaninchen		Zeit nach Beginn des Versuches	‰ CO_2 in der abgesaugten Luft	Ventilation in der Stunde
	Gewicht	Temp.			
1	2210 g	39,1	13 Min.	3,3	100 l
2			60 „	7,42	100 „
3			78 „	9,62	100 „
4			$6^1/_2$ Stunden	9,62	100 „

Die beiden letzten CO_2-Werte gestatten die Kohlensäureausscheidung des Kaninchens zu berechnen. Sobald der CO_2-Gehalt in der Luft des Tierraumes nicht mehr steigt, führt der Ventilationsstrom die gesammte vom Tier ausgegebene Kohlensäure mit fort. Im vorliegenden Fall enthielten nun 100 l austretender Luft bei einem CO_2-Gehalt von 9,62 $^0/_{00}$ 100 $\times$ 9,62 ccm CO_2 oder, da 1 ccm CO_2 (reduc. Vol.) 1,965 mg wiegt, 100 $\times$ 9,62 $\times$ 1,965 = 1,890 g CO_2. Das Kaninchen hat also in einer Stunde 1,890 g CO_2 ausgeschieden oder auf 1 Kilogramm Körpergewicht 0,855 g, ein Wert, der mit den in der Litteratur vorliegenden Angaben über den Gaswęchsel bei Kaninchen gut übereinstimmt.

Wie mit Hilfe der fortlaufenden minimetrischen CO_2-Bestimmungen leicht verfolgt werden konnte, begann bei der ersten Versuchsreihe der CO_2-Gehalt der Kastenluft langsam und gleichmässig anzusteigen, erreichte eine gewisse Höhe und blieb dann mit ganz geringen Schwankungen konstant. Bei der verhältnismässig geringen Ventilation von 100 Litern wird das Beständigbleiben des Kohlensäurewertes schon nach $1^1/_2$ bis 2 Stunden erreicht; ein hie und da auftretendes ganz geringes Sinken oder Steigen dieses Wertes kann bei der Beurteilung des Versuches gar nicht in Betracht gezogen werden. Weiter macht sich bei dieser Ventilation ein Einfluss des Verhaltens des Versuchstieres auf die CO_2-Werte sehr bemerklich, wie er bei höheren Ventilationen nie mehr in solcher Weise zur Beobachtung kam. Wenn nämlich das Tier unruhig wurde und im Kasten sich schnell hin und her bewegte, so stieg sofort der CO_2-Gehalt der abgesaugten Luft, um bei eingetretener Ruhe wieder etwas abzunehmen. Bei lang ausgedehnten Versuchen wurde schliesslich die Konstanz des Kohlensäuregehaltes der Kastenluft gar nicht mehr alteriert, da das Kaninchen nach längerem Aufenthalt in dem Kasten sich meist vollkommen ruhig und apathisch verhielt.

Wenn das Kaninchen, wie es manchmal zu thun pflegte,

seine Nasenlöcher einige Zeit direkt vor die Absaugeöffnung hielt, stieg der CO_2-Gehalt natürlich sehr schnell an, da eben dann die kohlensäurereiche Atmungsluft des Tieres direkt in den minimetrischen Apparat gesaugt wurde, ohne sich mit der übrigen Kastenluft genügend vermischt zu haben.

Einmal blieb das Tier infolge eines Versehens 30 Minuten ohne Ventilation im Kasten; dabei stieg die Kohlensäure in kurzer Zeit so hoch, wie mit Ventilation erst nach Verlauf mehrerer Stunden.

Bei der hier angewendeten Ventilation von 100 Liter Luft in der Stunde enthielt die konstant bleibende Mischung der Kastenluft zwischen 9,16 und 9,7 $^0/_{00}$ CO_2, das Versuchstier gab also zwischen 1,7 g und 1,9 g CO_2 in der Stunde ab. Ein höherer CO_2-Wert wurde niemals gefunden; war der angegebene Wert erreicht, so blieb er mit ganz geringen Schwankungen unverändert, auch wenn ich den Versuch auf mehrere Stunden ausdehnte; erhöhte ich jedoch die Ventilation nur um 20 Liter, so bemerkte ich den Einfluss dieser Änderung schon nach ganz kurzer Zeit an dem Sinken des CO_2-Gehaltes der austretenden Luft.

Dass der zuletzt verhältnismässig hohe Kohlensäuregehalt der Kastenluft dem Versuchstier Unbehagen oder Störungen verursacht hätte, konnte ich nie bemerken.

Als Schluss dieser Ausführungen füge ich ein tabellarisches Protokoll eines typischen Versuches der ersten Reihe an. Der hier verzeichnete Versuch nahm die Zeit von morgens 9 Uhr 25 Minuten bis nachmittags 4 Uhr 2 Minuten in Anspruch; die einzelnen CO_2-Bestimmungen wurden an einander anschliessend gemacht, nur von 10 Uhr 54 Minuten bis 3 Uhr 42 Minuten wurden keine Luftproben untersucht. Diese Pause fällt zwischen Nr. 14 und 15 des Protokolls.

Kaninchen von 2210 g Gewicht und 39,1° Körpertemperatur wird 9^{25} in den Kasten gesetzt. Die Ventilation, die auf 100 Liter in der Stunde eingestellt ist, tritt sofort in Gang.

Nr.	Dauer der einzelnen CO_2-Bestimmung	Luftverbrauch im minimetrischen CO_2-Apparat	Lösung	CO_2-Gehalt der abgesaugten Luft	CO_2-Gehalt der Zimmerluft
1	5 Min.	280 ccm	$^1/_{500}$ Normal-Na_2CO_3	2,35‰	0,351‰
2	2 „	240 „	„	2,75 „	„
3	3 „	200 „	„	3,3 „	„
4	3 „	190 „	„	3,48 „	„
5	3 „	140 „	„	4,7 „	„
6	2 „	100 „	„	6,6 „	„
7	4 „	100 „	„	6,6 „	„
8	2 „	90 „	„	7,42 „	„
9	2 „	80 „	„	8,24 „	„
10	2 „	80 „	„	8,24 „	„
11	2 „	70 „	„	9,62 „	„
12	2 „	70 „	„	9,62 „	„
13	2 „	70 „	„	9,62 „	„
14	2 „	70 „	„	9,62 „	„
15	3 „	70 „	„	9,62 „	0,343‰
16	2 „	70 „	„	9,62 „	„
17	2 „	70 „	„	9,62 „	„
18	2 „	80 „	„	8,24 „	„
19	2 „	70 „	„	9,62 „	„
20	2 „	70 „	„	9,62 „	„

Schluss des Versuches 4^2. Körpertemperatur des Kaninchens 38,7°.

2. Versuchsreihe.

Die zweite Reihe umfasst diejenigen Versuche, welche ich mit Kaninchen unter sonst gleichen Umständen machte wie die Versuche der ersten Reihe, nur mit dem Unterschiede, dass der Tierraum in der Stunde mit 150 Liter Luft ventiliert wurde.

Eine kleine Tabelle möge an einem Beispiel das Resultat dieser Versuchsreihe klar machen.

Nr.	Kaninchen		‰ CO_2 in der abgesaugten Luft	Zeit nach Beginn des Versuches	Ventilation in der Stunde
	Gewicht	Temp.			
1	2230 g	38,9	1,48 ‰	19 Min.	150 l
2			3,58 „	60 „	150 „
3			7,17 „	120 „	150 „
4			7,17 „	7 Stunden	150 „

Das Tier hat also, wie eine Berechnung nach dem früher (S. 10) gegebenen Beispiel zeigt, auch hier in der Stunde rund 1,9 g CO_2 ausgeschieden.

Die Verstärkung der Ventilation um 50 Liter pro Stunde machte sich deutlich bemerkbar. Der Kohlensäuregehalt stieg nur sehr langsam an, und die Luft erreichte den höchsten CO_2-Wert, bei dem ihre Zusammensetzung auch wieder konstant blieb, erst nach $2^1/_2$—3 Stunden, die Schwankungen bei starker Unruhe und nachherigem Stillsitzen des Tieres kamen hiebei nur wie verwischt zur Geltung; nur wenn das Tier seine Nasenlöcher an das Absaugerohr hielt, traten natürlich dieselben Erscheinungen wie bei der 1. Versuchsreihe auf.

Das Maximum des CO_2-Gehaltes der Luft belief sich bei der 2. Versuchsreihe auf 7,5 ‰, also die CO_2-Ausscheidung des Kaninchens auf 1,98 g in der Stunde.

Bei einer Anzahl von Versuchen in dieser Reihe habe ich, umgekehrt wie bei allen anderen Versuchen, unter sonst ganz gleichen Umständen das Absaugerohr nahe dem Boden des Kastens angebracht und die eintretende Luft nahe der Kastendecke einströmen lassen. Das Resultat blieb jedoch, wie aus folgender Zusammenstellung ersichtlich, fast genau das gleiche.

Absaugerohr oben	Absaugerohr unten	Zeit nach Beginn des Versuches
3,36 ‰ CO_2	3,58 ‰ CO_2	1 Stunde
4,71 „ „	4,44 „ „	2 Stunden
7,17 „ „	7,5 „ „	4 Stunden

Zuletzt brachte ich das Absaugerohr durch den Boden des Kastens in die Nähe des Kaninchens. Die Folgen dieser Anordnung waren sehr hohe CO_2-Werte, die sich nahezu gleich blieben, was darauf zurückzuführen, dass das Tier fast fortwährend seine Nasenlöcher dicht an das nach aufwärts gekrümmte Absaugerohr hielt.

Auch in dieser Versuchreihe blieb einmal das Kaninchen 12 Minuten lang nach Einbringung in den Kasten ohne Ventilation. Der Kohlensäuregehalt stieg dabei bis auf 5,5 ‰. Nach Einschaltung der Ventilation fiel er innerhalb 25 Minuten auf 2,9 ‰ herab, um dann in derselben Weise wie bei den anderen Versuchen langsam wieder anzusteigen. Dieser Befund, wie auch der Seite 11 erwähnte, ist wohl folgendermassen zu deuten. Wenn ein Tier in einem verhältnismässig grossen, von luftdichten Wänden umschlossenen Behälter ohne Zufuhr frischer Luft belassen wird, so häuft sich die exspirirte

Kohlensäure zunächst in der Umgebung des Tieres an, und eine aus dem Behälter entnommene Luftprobe wird, falls sie aus der Nähe des Tieres stammt, einen höheren CO_2-Gehalt zeigen, als dem durchschnittlichen CO_2-Gehalt der gesammten Behälter-Luft entspricht.

Bei einem Versuche dieser Reihe fiel unerklärlicher Weise, nachdem das Tier bereits etwa 6 Stunden im Kasten gesessen hatte und die Ventilation unverändert auf 150 Liter geblieben war, der CO_2-Wert von 7,3 auf 6,1 $^0/_{00}$ herab, stieg aber nach kurzer Zeit wieder auf 7,5 $^0/_{00}$, um dann so zu bleiben.

Der in nachstehendem Protokoll aufgeführte Versuch umfasst die Zeit von morgens 9 Uhr 20 Minuten bis nachmittags 4 Uhr 38 Minuten; eine Pause wurde gemacht von 11 Uhr 59 Minuten bis 3 Uhr 36 Minuten. Diese Pause fällt zwischen Nr. 12 und 13.

Kaninchen von 2230 g Gewicht und 38,9° Körpertemperatur wird 9 Uhr 20 Minuten in den Kasten gesetzt. Die Ventilation, auf 150 Liter in der Stunde eingestellt, tritt sofort in Thätigkeit.

Nr.	Dauer der einzelnen CO_2-Bestimmung	Luftverbrauch im minimetrischen CO_2-Apparat	Lösung	CO_2-Gehalt der abgesaugten Luft	CO_2-Gehalt der Zimmerluft
1	19 Min.	800 ccm	$^1/_{250}$ Normal-Natriumkarbonat	1,48 $^0/_{00}$	0,375 $^0/_{00}$
2	20 „	1000 „	$^1/_{100}$	3,3 „	„
3	20 „	980 „	$^1/_{100}$	3,36 „	„
4	18 „	920 „	$^1/_{100}$	3,58 „	„
5	2 „	80 „	$^1/_{1000}$	4,125 „	„
6	5 „	280 „	$^1/_{250}$	4,68 „	„
7	15 „	700 „	$^1/_{100}$	4,71 „	„

Nr.	Dauer der einzelnen CO_2-Bestimmung	Luftverbrauch im minimetrischen CO_2-Apparat	Lösung	CO_2-Gehalt der abgesaugten Luft	CO_2-Gehalt der Zimmerluft
8	5 Min.	380 ccm	$^1/_{100}$ Normal-Natriumkarbonat	8,7 ‰*)	0,375 ‰
9	10 „	640 „	$^1/_{100}$	5,15 „	„
10	3 „	220 „	$^1/_{250}$	6,0 „	„
11	7 „	480 „	$^1/_{100}$	6,87 „	„
12	7 „	460 „	$^1/_{100}$	7,17 „	„
13	6 „	460 „	$^1/_{100}$	7,17 „	„
14	7 „	460 „	$^1/_{100}$	7,17 „	„
15	3 „	180 „	$^1/_{250}$	7,33 „	„
16	6 „	460 „	$^1/_{100}$	7,17 „	0,351 ‰
17	3 „	180 „	$^1/_{250}$	7,33 „	„
18	7 „	460 „	$^1/_{100}$	7,17 „	„

*) Das Tier hält seine Nasenlöcher direkt an das Absaugerohr. Schluss des Versuches 4^{38}. Körpertemperatur des Kaninchens 38,9°.

3. Versuchsreihe.

Die Ventilation betrug bei dieser Reihe 200 Liter in der Stunde. Als Versuchstiere benützte ich wiederum Kaninchen.

Bei dieser für einen Tierbehälter von ca. 60 Liter Rauminhalt schon ziemlich starken Ventilation erreichte die Kohlensäure in der zuletzt konstant bleibenden Mischung der Kastenluft eine Höhe von 6,23—6,6 ‰, woraus sich ergibt, dass das Tier in der Stunde 2,4—2,5 g CO_2 ausschied. Bis jedoch diese Mischung sich eingestellt hatte, vergingen 6—7 Stunden, während bei den beiden vorhergehenden Versuchsreihen die Konstanz schon nach viel kürzerer Zeit erreicht wurde. Folgende Tabelle wird die zeitliche Verschiebung des Eintritts der Konstanz bei den drei bisher angewendeten Ventilationsstärken übersichtlich zeigen.

Beginn des Versuchs	Konstanz des CO_2-Gehalts der Kastenluft trat ein	Ventilation
9^{32}	10^{42} d. h. nach 70 Minuten	100 l
9^{30}	11^{59} d. h. nach 2 Stunden 29 Min.	150 „
9^{22}	3^{59} d. h. nach 6 Stunden 37 Min.	200 „

Unruhe des Tieres machte sich bei den Versuchen der 3. Reihe niemals geltend. Dass gleichwohl die CO_2-Ausscheidung höher ausfiel als bei den vorhergehenden Reihen, lässt sich, wenn man überhaupt für diese innerhalb der physiologischen Grenzen liegende Erhöhung eine Erklärung suchen will, daraus erklären, dass das Kaninchen unter der Einwirkung des kräftigen Luftstromes seine Lungen durch tiefere In- und Exspirationen ergiebiger auslüftete.

Der Kohlensäuregehalt der Luft, die aus dem Arbeitszimmer in den Kasten eintrat, bewegte sich zwischen 0,37 und 0,43 $^0/_{00}$, konnte also, wie auch ohne Ausnahme bei den übrigen Versuchsreihen, ohne Nachteil für die Bestimmung des Kohlensäuregehalts der austretenden Luft als konstant angesehen werden.

Der als Beispiel hier mitgeteilte Versuch nahm die Zeit von morgens 9 Uhr 15 Minuten bis nachmittags 4 Uhr 46 Minuten in Anspruch; ausgesetzt wurde mit den CO_2-Bestimmungen von 11 Uhr 31 Minuten bis 3 Uhr 40 Minuten; diese Pause fällt zwischen Nr. 10 und 11.

Kaninchen von 2340 g Gewicht und 39,1° Körpertemperatur wird 9 Uhr 15 Minuten in den Kasten gesetzt. Ventilation 200 Liter in der Stunde.

Nr.	Dauer der einzelnen CO_2-Bestimmung	Luftverbrauch im minimetrischen CO_2-Apparat	Lösung	CO_2-Gehalt der abgesaugten Luft	CO_2-Gehalt der Zimmerluft
1	4 Min.	320 ccm	$^1/_{1000}$ Normal-Natriumkarbonat	1,031 ‰	0,375 ‰
2	20 „	980 „	$^1/_{250}$	1,33 „	„
3	2 „	180 „	$^1/_{1000}$	1,833 „	„
4	20 „	1000 „	$^1/_{100}$	3,3 „	„
5	20 „	1000 „	$^1/_{100}$	3,3 „	„
6	4 „	340 „	$^1/_{250}$	3,88 „	„
7	15 „	840 „	$^1/_{100}$	3,92 „	„
8	15 „	820 „	$^1/_{100}$	4,02 „	„
9	1 „	80 „	$^1/_{1000}$	4,125 „	„
10	13 „	810 „	$^1/_{100}$	4,09 „	„
11	8 „	560 „	$^1/_{100}$	5,89 „	0,416 ‰
12	8 „	540 „	$^1/_{100}$	6,11 „	„
13	6 „	500 „	$^1/_{100}$	6,6 „	„
14	6 „	500 „	$^1/_{100}$	6,6 „	„
15	5 „	500 „	$^1/_{100}$	6,6 „	„
16	2 „	200 „	$^1/_{250}$	6,6 „	„
17	6 „	500 „	$^1/_{100}$	6,6 „	0,435 ‰
18	2 „	200 „	$^1/_{250}$	6,6 „	„
19	6 „	500 „	$^1/_{100}$	6,6 „	„

Schluss des Versuchs 4^{46}. Körpertemperatur des Kaninchens 38,8°.

4. Versuchsreihe.

Die 4. Reihe bildet die Zusammenstellung der Versuche, die ich mit einem Kaninchen bei einer Ventilation von 250 Liter in der Stunde gemacht habe.

Es ist dies die stärkste Ventilation, die ich überhaupt angewendet habe. Das Resultat war natürlich entsprechend modifiziert. Als höchster CO_2-Wert, bei dem die Mischung der Kastenluft konstant blieb, fand ich 5,5—5,78 $^0/_{00}$, so dass das Kaninchen in der Stunde 2,5—2,8 g CO_2 exspirirt haben musste. Bis die Konstanz erreicht wurde, verstrich ein Zeitraum von 6—7 Stunden.

Als bei dieser Ventilation das Tier seine Nasenlöcher wieder einmal mehrere Minuten lang dicht an das Absaugerohr hielt — es geschah dies vor Eintritt der Konstanz des CO_2-Gehaltes — stieg der CO_2-Wert von 2,64 $^0/_{00}$ bis 4,4 $^0/_{00}$, nach weiteren 11 Minuten auf 5,0 $^0/_{00}$, um dann, nachdem das Kaninchen seine Stellung geändert hatte, im Verlauf von 11 Minuten wieder auf 4,58 $^0/_{00}$ herabzusinken.

Grosse Unruhe des Tieres hatte keinen merklichen Einfluss auf den CO_2-Gehalt. Derselbe stieg sehr langsam, aber stetig bis zur oben bezeichneten Höhe und blieb dann nahezu konstant.

Folgende Tabelle veranschaulicht das Verhalten des CO_2-Wertes.

Nr.	Kaninchen		$^0/_{00}$ CO_2 in der abgesaugten Luft	Zeit nach Beginn des Versuchs	Ventilation in der Stunde
	Gewicht	Temp.			
1	2350 g	38,9°	1,27	20 Min.	250 l
2			2,12	60 „	„
3			2,64	120 „	„
4			5,68	7 Stunden	„

Bei dieser Ventilation sass das Kaninchen gegen Schluss der einzelnen Versuche stets zusammengekauert in einer Ecke des Kastens und machte den Eindruck, als ob es fröre, was ich bei den früheren Reihen, bei denen die Zimmertemperatur in gleicher Weise gegen Abend abfiel, niemals bemerken konnte. Ich glaube daher diese Erscheinung auf die starke Durchlüftung des Tierbehälters zurückführen zu sollen.

Der in nachstehendem Protokoll aufgezeichnete Versuch wurde zwischen 9 Uhr 32 Minuten morgens und 4 Uhr 49 Minuten nachmittags ausgeführt; ausgesetzt wurde mit den CO_2-Bestimmungen von 11 Uhr 10 Minuten bis 3 Uhr 40 Minuten. Diese Pause fällt zwischen Nr. 10 und 11 der Tabelle.

Kaninchen von 2350 g Gewicht und 38,9° Körpertemperatur wird 9 Uhr 32 Minuten in den Kasten gesetzt. Ventilation 250 Liter in der Stunde.

Nr.	Dauer der einzelnen CO_2-Bestimmung	Luftverbrauch im minimetrischen CO_2-Apparat	Lösung	CO_2-Gehalt der abgesaugten Luft	CO_2-Gehalt der Zimmerluft
1	2 Min.	140 ccm	$^1/_{1000}$	2,357 ‰	0,568 ‰
2	7 „	500 „	$^1/_{250}$	2,64 „	„
3	2 „	140 „	$^1/_{1000}$	2,357 „	„
4	10 „	520 „	$^1/_{250}$	2,54 „	„
5	10 „	500 „	$^1/_{250}$	2,64 „	„
6	8 „	500 „	$^1/_{250}$	2,64 „	„
7	6 „	300 „	$^1/_{250}$	4,4 „	„
8	11 „	660 „	$^1/_{100}$	5,0 „	„
9	11 „	720 „	$^1/_{100}$	4,58 „	„
10	11 „	700 „	$^1/_{100}$	4,71 „	„
11	10 „	580 „	$^1/_{100}$	5,68 „	„
12	11 „	580 „	$^1/_{100}$	5,68 „	0,402 ‰
13	9 „	580 „	$^1/_{100}$	5,68 „	„
14	10 „	580 „	$^1/_{100}$	5,68 „	„
15	10 „	580 „	$^1/_{100}$	5,68 „	„
16	9 „	580 „	$^1/_{100}$	5,68 „	„

Normal-Natriumkarbonat

Schluss des Versuches 4^{49}. Körpertemp. des Kaninchens 38,8°.

Um den Einfluss der Ventilation auf den CO_2-Gehalt recht in das Auge fallend darzustellen, führe ich die Ergebnisse der vier Versuchsreihen noch einmal tabellarisch geordnet hier auf.

Tabelle I.

Ventilation in der Stunde	Zeit nach Beginn des Versuchs	$^0/_{00}$ CO_2 in der abgesaugten Luft
100 l	30 Min.	6,6
150 „	30 „	3,3
200 „	30 „	1,833
250 „	30 „	1,5

Tabelle II.

Ventilation in der Stunde	Zeit nach Beginn des Versuchs	$^0/_{00}$ CO_2 in der abgesaugten Luft
100 l	60 Min.	8,24
150 l	60 „	3,58
200 l	60 „	3,3
250 l	60 „	2,12

Tabelle III.

Ventilation in der Stunde	Zeit nach Beginn des Versuchs	‰ CO_2 in der abgesaugten Luft
100 l	3 Stunden	9,62
150 „	3 „	6,35
200 „	3 „	5,89
250 „	3 „	4,0

Tabelle IV.

Ventilation in der Stunde	Zeit nach Beginn des Versuchs	‰ CO_2 in der abgesaugten Luft
100 l	7 Stunden	9,62
150 „	7 „	7,17
200 „	7 „	6,6
250 „	7 „	5,68

Wenn die CO_2-Werte in Gramme umgerechnet werden, so erscheint es zweifellos, dass bei steigender Ventilation auch die Kohlensäureabgabe des Versuchstieres steigt, was ich aus den oben angeführten Gründen mir zu erklären gesucht habe. Denn bei 100 Liter Ventilation scheidet das Kaninchen 1,9 g, bei 150 Liter 1,97 g, bei 200 Liter 2,5 g und bei 250 Liter sogar 2,8 g Kohlensäure in der Stunde aus.

5. Versuchsreihe.

An Stelle des grossen ca. 60 Liter fassenden Kastens habe ich bei einer kleineren Anzahl von Versuchen, bei denen

ebenfalls ein Kaninchen als Kohlensäurequelle diente, die in der Einleitung zu dieser Arbeit bereits beschriebene Glasglocke von 7,50 Liter Inhalt als Tierbehälter benutzt. Die gewählten Ventilationsstärken waren 100, 120, 150 und 180 Liter in der Stunde. Zu einem brauchbaren Resultate konnte ich jedoch bei dieser Versuchsanordnung nicht kommen.

Nach diesen Versuchen an Kaninchen habe ich noch Leuchtflammen als Kohlensäurequellen benutzt, und zwar entweder die Flammen von gewöhnlichen käuflichen Stearinkerzen oder von Nachtlichten, wie sie hier allgemein im Gebrauch sind, oder die Leuchtgasflammen sogenannter Mikrobrenner.

6. Versuchsreihe.

Bei den Versuchen mit den Kerzen benutzte ich teils denselben Kasten, den ich bei den Tierversuchen verwendet hatte, teils die ebenfalls zuvor schon, bei der 5. Reihe, gebrauchte Glasglocke. Die Ventilation betrug 110, 120 und 130 Liter in der Stunde.

Wurde eine brennende Stearinkerze in den Kasten gestellt, so stieg der CO_2-Gehalt der Kastenluft sehr schnell an; hatte er 8 oder 9 $^0/_{00}$ erreicht, so war an der Kerzenflamme ein eigentümliches Phänomen zu beobachten. Die Flamme wurde nämlich von Zeit zu Zeit ganz klein, als wenn sie dem Erlöschen nahe wäre und brannte fast ganz lichtlos, um dann wieder langsam zu ihrer vorherigen Grösse und Helle aufzuleuchten. Dieses Spiel wiederholte sich in gewissen Pausen immer wieder; je höher aber der CO_2-Gehalt der Kastenluft stieg, desto länger brannte die Kerze klein und lichtlos, und desto langsamer leuchtete sie wieder auf; hatte die CO_2 eine Höhe von rund 18 $^0/_{00}$ erreicht, so erlosch die Flamme. Eine konstant bleibende Mischung der Kastenluft konnte ich unter diesen Umständen nicht erreichen.

Eine in demselben Kasten unter gleichen Verhältnissen brennende Nachtkerze produzierte viel geringere Mengen von CO_2 und lieferte als Maximum einen CO_2-Wert von nur 11,78—12,7 $^0/_{00}$. Das eigentümliche Phänomen der Stearinkerze zeigte die Nachtkerze ebenfalls, doch in viel geringerem Grade, und ein Erlöschen der Flamme trat nicht ein.

Den Unterschied der CO_2-Produktion der beiden Flammen möge folgende kleine Tabelle anschaulich machen:

Zeit nach Beginn des Versuchs	Nachtlicht	Stearinkerze	Ventilation in der Stunde	
			Nachtlicht	Stearinkerze
15 Min.	3,36 $^0/_{00}$ CO_2	3,92 $^0/_{00}$ CO_2	130 l	120 l
120 „	9,16 „ „	18,33 „ „	„	„

Versuche mit zwei brennenden Kerzen im Kasten führten zu keinem Resultat, da sich die Ventilation als ungenügend erwies, und sehr bald nach Beginn eines jeden Versuches zuerst die eine, dann die andere Kerze verlosch, obwohl der CO_2-Gehalt in der abgesaugten Luft noch ziemlich gering schien. Ich habe diese Versuche über eine Stunde fortgesetzt, ohne jedoch zu einem anderen Resultate gelangen zu können.

Die Versuche mit Stearinkerze und Nachtlicht unter der Glasglocke machte ich bei einer Ventilationsstärke von 110 Liter Luft in der Stunde.

Bei der für einen so kleinen Raum sehr starken Ventilation trieb das Nachtlicht den CO_2-Gehalt auf 16,5 $^0/_{00}$. Unter diesen Bedingungen brannte die Flamme ganz klein, doch gleichmässig fort, während die Stearinkerze genau unter denselben Verhältnissen schon bei einem CO_2-Gehalt von 13,2 $^0/_{00}$ erlosch, was mir sehr auffallend war, da dieselbe

Kerze, wenn sie in dem 60 Liter fassenden Kasten brannte, erst durch einen CO_2-Gehalt von $18\,^0/_{00}$ zum Erlöschen gebracht wurde. Das Phänomen, das die Kerzenflamme im Kasten gezeigt hatte, liess sich unter der Glocke nicht beobachten, da die Flamme hier gleich von Anfang an klein und wenig leuchtend brannte; auch trat hier das Erlöschen ganz unvermittelt, ohne vorbereitende Anzeichen ein.

Das Resultat der hier beschriebenen 6 Versuchsreihen glaube ich folgendermassen zusammenfassen zu können:

1. In einem geschlossenen, 60 Liter fassenden Raum, in dem sich eine gleichmässig fliessende, stündlich 1 Liter CO_2 liefernde Kohlensäurequelle befindet, wird der Kohlensäuregehalt bei einer stündlichen Ventilation von 100—250 Litern erst nach Verlauf mehrerer Stunden konstant.

2. Je ausgiebiger die Ventilation des Raumes ist, desto später tritt die Konstanz des Kohlensäuregehaltes ein.

3. Die Luft des oberen Teiles eines solchen Raumes zeigt gegenüber der des unteren Teiles in ihrem CO_2-Gehalt, keinen Unterschied, gleichviel, ob der Ventilationsstrom in diagonaler Richtung absteigend oder aufsteigend durch den Raum geleitet wird.

4. Dient die Flamme einer Stearinkerze als Kohlensäurequelle, so lässt sich eine Konstanz des Kohlensäuregehaltes bei einer Ventilation bis zu 130 Liter in der Stunde nicht erreichen, da die Kerze bei einer gewissen Höhe des Kohlensäuregehaltes ungleichmässig zu brennen beginnt und schliesslich erlischt.

5. Wird statt der Stearinkerze die kleine Flamme eines Nachtlichtes als Kohlensäurequelle benutzt, so tritt zwar ein Erlöschen nicht ein, aber der Verbrennungsvorgang erleidet doch derartige Störungen, dass eine vollkommene Konstanz des Kohlensäuregehaltes nicht erzielt wird.

6. Brennt eine Stearinkerze unter einer Glasglocke von 7,5 Liter Inhalt, durch die ein Ventilationsstrom von 110 Liter

in der Stunde hindurchgeleitet wird, so erlischt die Flamme nach kurzer Zeit. Unter denselben Bedingungen brennt ein Nachtlicht zwar klein, aber gleichmässig fort.

Die bemerkenswerten Erscheinungen, welche an den Kerzenflammen hervorgetreten waren, die bei einem gewissen Kohlensäuregehalt der Luft des Brennraumes eintretende Formveränderung und Entleuchtung der Flamme, veranlassten mich, eine grössere Reihe von Versuchen anzustellen, deren Anordnung so getroffen werden sollte, dass Änderungen in der Gestalt und Helligkeit der Flamme gut beobachtet und der Kohlensäuregehalt, welcher das Erlöschen der Flamme herbeiführt, nicht allein minimetrisch, sondern auch nach dem Pettenkofer'schen Verfahren bestimmt werden konnte. Als Kohlensäurequelle wählte ich die schmale, schlanke Flamme eines Mikrobrenners, der bei einem stündlichen Gasverbrauch von 6—15 Liter brauchbare Flammen lieferte.

7. Versuchsreihe.

Bei diesen Versuchen mit der Leuchtgasflamme des Mikrobrenners bediente ich mich eines Blechkastens von quadratischer Grundfläche, in dessen Vorder- und Rückseite je eine Glastafel luftdicht eingelassen war, und der auf einem Holztischchen luftdicht aufsass. Der Kasten war 32 cm breit, 32 cm tief und 40 cm hoch, hatte also einen Inhalt von 40 Liter. Das Leuchtgas strömte durch ein in die Mitte des Tischchens eingelassenes Messingrohr zu dem Brenner. Bevor es in den Brenner trat, passierte es eine Gasuhr und einen mit Chlorcalcium gefüllten Turm. Ventilirt wurde mittels der Körting'schen Wasserstrahlpumpe und einer Heberflasche, deren Inhalt genau gemessen war. In die zur Heberflasche führende Schlauchleitung war noch ein Quecksilbermanometer

eingeschaltet. Da der Blechkasten in den beiden Seitenwänden je 3 in verschiedener Höhe (oben, in der Mitte und unten) eingesetzte Rohrstutzen trug, so konnte der Eintritt und Austritt des Ventilationsstroms beliebig gewählt, d. h. es konnte der Ventilationsstrom absteigend, aufsteigend oder horizontal durch den Kasten geleitet werden. Von der Mitte der Decke des Kastens führte ein Messingdraht, an dessen unterem Ende ein Stückchen spiralförmig gewundenen Platindrahtes befestigt war, in den Bereich der Flamme: begann die Flamme matt und lichtschwach oder ganz entleuchtet zu brennen, so liess sie sich mit Hilfe des glühenden Platindrahtes immer noch sicher beobachten.

Der CO_2-Gehalt der Kastenluft wurde bestimmt nach der Pettenkofer'schen Methode und zugleich auch mit dem minimetrischen Apparat. Dabei trachtete ich bei einem möglichst starken Gasverbrauch eine möglichst geringe Ventilation wirken zu lassen. Im Moment des Erlöschens der Leuchtgasflamme wurden alle luftzu- und abführenden Öffnungen des Kastens sowie der gaszuführende Schlauch geschlossen. Es unterliegt keinem Zweifel, dass die analytisch festgestellten Kohlensäurewerte der Kastenluft etwas zu niedrig ausgefallen sind, da die Luftzusammensetzung nicht, wie sie im Augenblick des Erlöschens war, ermittelt wurde, sondern nur die mittlere Zusmmensetzung der Luft vom Beginn des messenden Versuchs an bis zum Augenblick des Erlöschens.

Bei der Berechnung der einzelnen Versuche wurde fast ebenso verfahren, wie dies in der Arbeit von Hübner[1]) geschehen ist, indem für die Pumpenventilation V_p, für die Heberventilation V_h, für den Barometerstand b, für die Tension des Wasserdampfes f und für die Titerdifferenz D

1) R. Hübner, Über die Beziehungen zwischen der Ventilation und dem Kohlensäuregehalt der Luft geschlossener Räume. Sitzungsberichte d. physik.-med. Societät zu Erlangen 1894 S. 135.

eingesetzt wurde. Der jeweilige Barometerstand wurde bei diesen Berechnungen reduciert auf 0^0 C. und 760 mm Hg, so dass also die Berechnung eines Versuches sich folgendermassen gestaltet:

$$V_{p_0} = V_p \cdot \frac{b-f}{760} \cdot \frac{1}{1 + \alpha\ t}$$

$$V_{h_0} = V_h \cdot \frac{b-f}{760} \cdot \frac{1}{1 + \alpha\ t}$$

$$V_{s_0} = V_{p_0} + V_{h_0}$$

$$f(V) = \frac{V_{s_0}}{V_{h_0}}$$

$f(V) \cdot D$ = gefundener CO_2-Wert in cgr CO_2.

Aus diesem Resultat wurde dann der CO_2-Wert auf Liter und Prozente umgerechnet.

Die Werte der stündlichen Ventilation und des stündlichen Gasverbrauchs wurden nicht reduziert.

Bei den ersten Versuchen dieser Art wurde sofort bei Beginn der Pettenkofer'sche Apparat in Gang gesetzt; bei den späteren Versuchen änderte ich jedoch das Verfahren dahin ab, dass ich jeden einzelnen Versuch in eine Vorperiode und eine eigentliche Versuchsperiode einzuteilen suchte. Zur Begründung dieser Abänderung will ich zuerst das Verhalten der Leuchtgasflamme während der Versuche schildern.

Die Flamme brannte nach Beginn des Versuches ruhig, gleichmässig und schön leuchtend eine bestimmte Zeit fort und begann dann gewisse in jedem Versuche gleichförmig wiederkehrende Gestaltsveränderungen zu zeigen, verbunden mit Schwinden und Wiederkehr ihrer Leuchtkraft. Sie wurde nämlich nach einer von der Stärke der jeweiligen Ventilation abhängigen, bald kürzeren oder längeren Periode ruhigen Brennens fast um die Hälfte kleiner, nahm eine kelchartige Gestalt an und begann dann zu bedeutender Höhe zungenförmig sich auszudehnen, um nach einiger Zeit wieder in die

erste Gestalt zurückzukehren; hiebei wurde sie fast unsichtbar, und nur durch das deutliche Glühen des Platindrahtes konnte das Brennen der Flamme noch konstatiert werden. Die Gestaltsveränderungen wiederholten sich mit einem gewissen Rhythmus. Je länger der Versuch dauerte und je mehr sich demgemäss CO_2 in der Kastenluft anhäufte, desto höher dehnte sich die Flamme aus — so dass sie schliesslich fast bis zur Decke des Kastens reichte —, und umso stärker sank sie wieder zusammen. Kurz vor dem Erlöschen stieg sie zu ihrer grössten Höhe an, um dann sehr schnell zusammenzufallen und auszulöschen.

Nachdem durch mehrere Versuche erwiesen war, dass das Verhalten der Flamme immer dasselbe blieb, konnte ich, gestützt auf diese Erfahrung, die folgenden Versuche in zwei Abschnitte einteilen, nämlich, wie schon oben bemerkt, in eine Vorperiode und eine eigentliche Versuchsperiode. Als Vorperiode galt die Zeit vom Beginne des Versuches bis zum Eintritt der Entleuchtung der Flamme, als eigentliche Versuchsperiode (Periode des messenden Versuchs) die Zeit vom Eintritt der Entleuchtung bis zum Erlöschen der Flamme.

Die Versuche wurden in derselben Weise begonnen wie die früheren, nur blieben die Pettenkofer'schen Röhren ausgeschaltet, bis das Verhalten der Flamme anzeigte, dass die Vorperiode vorüber sei. Alsdann wurden die Pettenkofer'schen Röhren eingeschaltet und die Kastenluft hindurchgesaugt bis zum Erlöschen der Flamme, womit die eigentliche Versuchsperiode schloss.

Die Vorperioden waren je nach der Stärke der Ventilation und der Grösse des Gasverbrauchs von verschiedener Dauer. Die Abhängigkeit wird aus folgender Tabelle ersichtlich sein.

Dauer der Vorperiode	Ventilation in der Stunde	Gasverbrauch in der Stunde
90 Minuten	230,4 l	12,27 l
60 „	134,4—174,8 l	9,016—12,73 l
42 „	126,1—132,8 l	13,101 l
27 „	80 l	7,15 l

Die eigentliche Versuchsperiode wurde in ihrer Dauer ebenfalls sehr von der Stärke der Ventilation beeinflusst, wie die in der folgenden Tabelle zusammengestellten typischen Versuche lehren.

Dauer der Periode	Ventilation in der Stunde	Gasverbrauch in der Stunde
146 Minuten	230,4 l	12,27 l
98 „	160,5 „	13,36 „
56 „	132,8 „	13,44 „
42 „	119,7 „	13,13 „
10 „	103,2 „	13,05 „
3 „	80,5 „	14,3 „

Bei dem in der letzten Zeile angegebenen Versuch hat jedenfalls der stärkere Gasverbrauch sehr viel neben der geringen Ventilation zum raschen Ende des Versuches beigetragen, während umgekehrt im ersten aufgezeichneten Versuch der geringere Gasverbrauch im Verein mit der so starken Ventilation das Erlöschen der Flamme so sehr verzögert hat.

Die ersten Versuche mit der Leuchtgasflamme wurden ohne Teilung jedes einzelnen Versuches in zwei Perioden angestellt, es trat also bei Beginn sogleich der ganze Apparat in Thätigkeit. Die Ventilation war sehr schwach, so dass die Versuche nur von kurzer Dauer sein konnten. Die oben beschriebenen Flammenbilder bildeten sich nicht so deutlich aus, da sie zu schnell auf einander folgten, und das Erlöschen trat rasch und unvermittelt ein. Wie schnell bei schwacher

Ventilation der CO_2-Gehalt in der Luft überhand nahm und die Flamme zum Erlöschen brachte, möchte ich in folgender Zusammenstellung zeigen. Ich gebe in dieser Tabelle, um den Einfluss der Ventilation zu illustrieren, die Ventilationsstärke und den Gasverbrauch nicht nach der Stunde an, sondern stellte nur die direkten Beobachtungen darüber zusammen, mit wie viel Liter Luft während der angegebenen Zeit der Kasten ventiliert und wie viel Liter Gas während dieser Zeit im Kasten verbrannt wurden.

Dauer des Versuchs	Ventilation während des Versuchs	Gasverbrauch während des Versuchs
48 Minuten	65 l	10,8 l
26 „	14 „	5,13 „
12 „	9 „	5,02 „

Da bei so kurz dauernden Versuchen sicherlich ein genaues Resultat nicht zu erzielen war, so wurde die Ventilation verstärkt und die oben schon besprochenen Versuche mit längerer Zeitdauer angestellt.

Die zur Ventilation benutzte Luft war nicht kohlensäurefrei, da sie der Luft des Zimmers, in dem die Versuche stattfanden, direkt entnommen wurde. Die damit dem Blechkasten zugeführte Kohlensäure konnte bei der Berechnung der in der untersuchten Kastenluft vorhandenen CO_2-Menge ohne Bedenken ausser Acht gelassen werden, da der CO_2-Gehalt der Zimmerluft ein so geringer war, dass er auf die Resultate der Versuche sicher keinen Einfluss gehabt hat. Im Durchschnitt waren in der eingetretenen Ventilationsluft 0,06 % CO_2 vorhanden, also etwas mehr, als in der freien Luft, was sich daraus erklärt, dass sich in dem anderweitig nicht benutzten Arbeitsraum zur Zeit der Versuche 2 Personen aufhielten.

Nachdem der Einfluss der Ventilation auf die Dauer der Versuche festgestellt war, wurde das Augenmerk darauf ge-

richtet, bei welcher Zusammensetzung der Kastenluft d. h. bei welcher CO_2-Menge die Leuchtgasflamme erlösche.

Wie schon oben angedeutet, konnte nicht die direkt beim Erlöschen der Flamme im Kasten vorhandene Luftmischung auf ihren Kohlensäuregehalt untersucht werden; ich musste mich vielmehr begnügen, den mittleren Kohlensäuregehalt desjenigen Luftvolumens zu bestimmen, das von einem gewissen Zeitpunkt an bis zum Eintritt des Erlöschens abgesaugt wurde. Mit dem Absaugen der zu untersuchenden Luft begann ich stets erst dann, wenn aus der Formveränderung und Entleuchtung der Flamme geschlossen werden konnte, dass der Kohlensäuregehalt der Kastenluft sich seinem Maximum nähere, dass also die Flamme bald erlöschen müsse.

Die dergestalt ausgeführten Versuche ergaben, wie aus der tabellarischen Zusammenstellung von 10 Beispielen dieser Reihe hervorgeht, beträchtlich differierende Resultate.

Nr. des Versuchs	% CO_2 in der abgesaugten Luft	Ventilation in der Stunde	Gasverbrauch in der Stunde
1	5,54	174,8 l	9,01 l
2	4,93	137,7 „	13,13 „
3	4,91	103,2 „	13,05 „
4	4,50	134,4 „	12,73 „
5	3,69	79,9 „	14,3 „
6	3,60	183,8 „	14,84 „
7	3,52	230,4 „	12,27 „
8	3,43	132,8 „	13,44 „
9	3,30	160,5 „	13,36 „
10	3,28	126,1 „	13,10 „

Es schwankte also der Kohlensäuregehalt, der die Flamme zum Erlöschen brachte, zwischen 3,28 und 4,54 %. Eine vollkommene Übereinstimmung konnte ja bei der gewählten Versuchsanordnung überhaupt nicht erwartet werden; immerhin hatte ich in der Voraussetzung, dass der gesuchte Grenzgehalt

an CO_2 eine konstante Grösse sei, besser übereinstimmende Werte zu erhalten gehofft. So viel aber glaube ich aus meinen analytischen Befunden folgern zu dürfen, dass die Angabe von Emmerich[1]), der zufolge eine Leuchtflamme in einer 8 % CO_2 enthaltenden Atmosphäre erlischt, zum mindesten nicht ohne Einschränkung zutrifft.

Ferner legen diese Befunde die Vermuthung nahe, dass der Grenzgehalt an CO_2 nicht konstant, sondern variabel ist. Man könnte zunächst an einen Einfluss der Ventilation denken, an einen Einfluss, der etwa folgendermassen kurz zu bezeichnen wäre: Je stärker der Brennraum ventiliert wird, um so höher kann der CO_2-Gehalt steigen, ehe die Flamme erlischt. Eine Begründung dieses Satzes lässt sich freilich aus den oben zusammengestellten Zahlen nicht ableiten.

Vielleicht spielt auch der Feuchtigkeitsgehalt der Ventilationsluft eine gewisse Rolle.

Die Wirkung dieser beiden Faktoren müsste durch spezielle Versuche noch klargestellt werden. Leider war ich selbst nicht in der Lage, meine Arbeit in der bezeichneten Richtung noch weiter auszudehnen; eine experimentelle Lösung dieser Fragen wird aber im hiesigen physiologischen Institut von anderer Seite versucht werden.

Schliesslich möchte ich noch kurz die praktisch-hygienischen Konsequenzen, die sich aus den mitgeteilten Beobachtungen ergeben, andeuten.

Ein CO_2-Gehalt, der die Helligkeit einer Leuchtflamme zu beeinträchtigen vermag, dürfte in den Räumen eines Wohnhauses, selbst wenn sie sonst auch bescheidenen hygienischen Anforderungen nicht genügen, kaum vorkommen. Die natürliche Ventilation sorgt dafür, dass auch in überfüllten Räumen und bei reichlicher Verbrennung von Leuchtmaterial der CO_2-Gehalt niemals das Zwanzigfache desjenigen Wertes erreicht,

1) Münchn. med. Wochenschr. 1888, S. 412.

den wir nach von Pettenkofer als den hygienisch zulässigen Grenzwert für den CO_2-Gehalt der Zimmerluft anzusehen haben, das Zwanzigfache von 1 $^0/_{00}$. Wohl aber kommt eine solche Luftzusammensetzung, wie sie bei meinen Versuchen durch eine Kerzen- oder Leuchtgasflamme in der Glasglocke oder dem Blechkasten erzeugt wurde, in den Räumen gewisser technischer Betriebe vor. Als derartige Betriebe sind vornehmlich diejenigen der Gährungsgewerbe zu bezeichnen. In den Gährkellern besonders kann der CO_2-Gehalt der tieferen Luftschichten erstaunlich hoch, bis zu 10 $^0_0$, ansteigen.

Gleichviel, wodurch immer eine exzessive Steigerung des CO_2-Gehalts der Luft geschlossener Räume herbeigeführt sein möge, stets wird, wenn denn überhaupt eine Beleuchtung nicht zu entbehren ist, darauf Bedacht zu nehmen sein, dass die gewöhnliche Lampen- oder Gasbeleuchtung durch elektrisches Licht ersetzt wird.

Zum Schlusse erfülle ich mit Freuden eine Pflicht der Dankbarkeit, wenn ich hier meinem hochverehrten Lehrer, Herrn Professor Dr. I. Rosenthal und Herrn Dr. O. Schulz für ihre gütige Unterstützung und freundlichen Ratschläge sowie für das mir entgegengebrachte Wohlwollen meinen aufrichtigsten Dank ausspreche.